第 37 卷第 8 期　　生　态　学　报　　Vol.37,No.8
2017 年 4 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Apr.,2017

DOI: 10.5846/stxb201602010229
严岩,朱捷缘,吴钢,詹云军.生态系统服务需求、供给和消费研究进展.生态学报,2017,37(8):2489-2496.
Yan Y, Zhu J Y, Wu G, Zhan Y J.Review and prospective applications of demand, supply, and consumption of ecosystem services.Acta Ecologica Sinica, 2017,37(8):2489-2496.

生态系统服务需求、供给和消费研究进展

严　岩[1],朱捷缘[1,2],吴　钢[1,*],詹云军[2]

1 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京　100085

2 武汉理工大学 资源与环境工程学院, 武汉　430070

摘要:生态系统服务的持续供给是社会和自然可持续发展的基础,人类通过对生态系统服务的消费来满足需求和提高自身福祉。研究人类对生态系统服务的需求、消费,分析生态系统服务的供给与需求关系,对生态系统的管理、土地发展规划和资源的合理有效配置具有重要意义。首先分析了生态系统服务需求、供给和消费的内涵与特征,辨析了生态系统服务的有效需求和潜在需求、有效供给与潜在供给,进而提出了生态系统服务需求与供给研究框架,指出应研究生态系统服务供给和需求的空间关联以及生态系统服务需求弹性差异,进而因地制宜地调控生态系统服务供给使得生态系统服务效用最大化。梳理并比较了对生态系统服务供给和需求的量化指标和研究方法,包括基于土地利用和土地覆被的生态系统服务供需关系矩阵法、生态足迹法、公众参与法、模型计算法等。提出了未来的相关研究主要应从不同群体的需求弹性差异、跨学科与多源数据结合的需求定量评估方法、供需关系的多尺度分析、生态系统服务需求与人类福祉的耦合机制拓展等方面展开,为生态系统服务调控管理和社会的可持续发展提供切实可行的科学依据。

关键词:生态系统服务; 需求; 供给; 消费; 均衡; 空间关联

Review and prospective applications of demand, supply, and consumption of ecosystem services

YAN Yan[1], ZHU Jieyuan[1,2], WU Gang[1,*], ZHAN Yunjun[2]

1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*

2 *Wuhan University of Technology, School of Resource and environmental engineering, Wuhan* 430070, *China*

Abstract: Humans meet their needs and improve their well-being through the consumption of ecosystem services; thus, sustainable supply of ecosystem services is fundamental for the sustainable development of society and nature. Therefore, for effective ecosystem management, land development planning, and rational allocation of resources it is necessary to understand ecosystem services demand, consumption, supply, and supply-demand relations. Firstly, this study analyzed the characteristics of ecosystem services demand, supply, and consumption, as well as the relationship between the effective/potential demand and supply. Subsequently, the research framework of ecosystem services demand and supply was established, which showed that different regions could regulate ecosystem services supply to achieve maximum utility according to local conditions, based on the results of spatial correlation between ecosystem service supply and demand and demand elasticity differences. Furthermore, the measured indicators and approaches for quantifying ecosystem service supply and demand were reviewed and compared, including supply and demand relationship matrix methods based on land use and land cover, ecological footprint approaches, and public participation methods and model calculations. Finally, future

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71673268);城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2013-1-02)

收稿日期:2016-02-01;　　**修订日期:**2016-03-14

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wug@rcees.ac.cn

research directions were suggested, including demand elasticity differences among different human groups, interdisciplinary quantitative evaluation methods of ecosystem service demands with multisource data, the analysis of multiple spatiotemporal interactions between supply and demand of ecosystem services, and coupling mechanisms of ecosystem service demands and human well-being, which could provide a practical scientific foundation for the regulation and management of ecosystem services and sustainable society development.

Key Words: ecosystem services; demand; supply; consumption; balance; spatial association

生态系统服务是指生态系统所形成和维持的人类赖以生存和发展的环境条件与效用[1-2],据 TEEB[3] 报告,利益主体的经济活动对生态系统服务产生了巨大的需求,并导致生态系统服务状态发生改变。生态系统服务的持续供给是社会和自然可持续发展的基础,人类社会和经济代谢的生态服务需求和消费必须在生态系统的环境容纳量和生态服务可持续供给范围内[4]。研究生态系统服务的供给、需求和消费,包括数量上的供需均衡关系和空间关联格局,为生态系统的管理、资源的合理有效配置提供决策辅助,对人与自然的和谐耦合发展具有重要意义。同时,从相关利益方的角度了解生态系统服务的供给和消费过程,有助于在制定资源管理和生态补偿机制中更好地协调各利益相关者的关系[5-6]。

目前,从供给和消费的角度研究生态系统服务已逐渐受到国内外研究者的重视,并成为一个重要研究方向。本文在综合分析相关研究的基础上,辨析了生态系统服务需求、供给和消费的内涵与特征,在此基础上提出了生态系统服务需求与供给研究的总体框架,并对生态系统服务供给和需求研究的量化指标和研究方法进行了梳理归纳和比较,最后对目前研究中存在的问题进行分析,并对未来生态系统服务供给和需求研究进行展望。

1 生态系统服务需求、供给和消费的内涵与特征

1.1 生态系统服务需求

目前对生态系统服务需求的定义还没有形成一个被广泛接受的统一表述。Burkhard 等[7] 从消费角度定义,认为生态系统服务需求是特定的时间和空间范围内被消费或使用的生态系统服务;Villamagna[8] 和 Schröter[9] 等从社会或个体的偏好角度将生态系统服务需求定义为被社会要求或渴望得到的生态系统服务的数量和质量;Geijzendorffer 等[10] 认为生态系统服务需求是为获取或者保护某种生态系统服务所付出的支付意愿,如金钱、时间、距离成本等。总的来说,从消费角度的定义强调当前阶段对自然资源的实际消耗,从偏好角度的理解认为是为达到某种生活质量标准而期望获取的生态系统服务,强调从生态系统所到的惠益与预期的差异;从支付意愿的角度定义反映了消费者对生态系统服务的感知程度和效用价值的判断。

经济学中对需求的定义是一定时期内消费者在各种价格水平下愿意而且能够购买的该商品的数量,消费者的购买欲望和购买能力是构成有效需求的基本因素。而生态系统服务是人类直接或间接从生态系统中获得的效益[11],很多生态系统服务是无形的、无偿的公共服务,因此被消费者感知并且产生效用的生态系统服务就可以构成有效需求,值得注意的是,生态系统服务需求除了目前已经从生态系统获取的惠益,还包括潜在需求,因为一些限制因素(如可达性、成本、资源获取的技术限制)造成某些生态系统服务需求目前可能并未得到满足。因此,本文认为用个体偏好、意愿作为生态系统服务需求衡量标准,更贴合生态系统服务与人类福祉的主线,也可以提升生态系统服务价值评价的有效性和实用性。

1.2 生态系统服务供给

与生态系统服务供给相关的最早的概念是生态承载力[12]。生态承载力表示了给定区域的资源供给,即潜在供给,但并不能全部作为有效供给传递给人类[7-10]。Burkhard 等[7] 认为生态系统服务供给是在给定的时间和区域范围内生态系统提供的能够被实际利用的自然资源和服务,强调生态系统服务供给的有效性和可获

取性。Schröter 等[10,13]认为生态系统服务供给是从潜在供给传递出来的最终服务量,指出生态系统服务供给有明显的空间依赖性,当具备特定的空间条件后才能产生服务功能,例如授粉服务必须在周围有农作物、果园的时候才能产生效用,洪水调节服务仅仅在下游平原地区存在受益者(人类、建筑物、经济资产等)的时候才能发挥作用,休闲服务在空间可达的地方才存在而不是所有的自然景观都可以作为休闲服务供给。也就是说,潜在供给量是生态系统提供资源和产品的最大阈值,但并一定能全部形成有效供给,单纯考虑生物物理环境和土地类型确定服务供给量是不准确的,真正有效生态系统服务供给量还与获取难度、可达性、人类技术和管理方式有关。

1.3　生态系统服务消费

甄霖等[14]认为生态系统服务消费是人类生产和生活对生态系统服务的消耗、利用和占用,可分为直接消费如食物、燃料和间接消费如净化水质、废弃物处理等。经济学中的消费具有多样性,包括购买产品、获得服务和享受资源[15],因此可以将生态系统服务消费定义为购买生态系统产品以及接受、享受生态系统服务来满足需求和提高自身福祉的行为和过程。然而大多数生态系统服务排他性和竞争性不明显,人们在消费的时候意识不到它们的稀缺性[16]。

1.4　生态系统服务供给和需求的空间分异特征

生态系统服务的供给和需求在时间和空间上具有很强的分异特征[17]。生态系统服务的供给在空间上受制于生物物理化学过程以及土地利用/土地覆被(LUCC)类型的空间分布和结构,数量上受制于自然资本提供服务的能力,同时也受制于生态系统服务需求和福祉目标。

生态系统服务需求是由个人和群体的社会经济活动决定的,具有区域差异性和需求弹性差异,对自然资源依赖程度不同的区域呈现出不同的需求目标和福祉测度,在经济水平落后的地区对最基本食物和能源等物质供给服务的需求最大,而城市居民更关注主观需求和福祉,例如教育、文化、休闲等;同时,不同消费者对同一生态系统服务因社会背景、收入、偏好、认知水平、评价体系差异[18-20]产生不同的生态系统服务需求弹性,从而产生不同的消费意愿。生态系统服务的需求弹性差异是进行地区生态系统服务供给结构调整和供给管理政策实施的理论依据。

2　生态系统服务供给和需求研究框架

生态系统服务供需双方是服务形成、输送和最终被消费的主体[21],没有人类需求,生态系统功能和过程无法形成服务[22-23]。Fisher 等[22]将生态系统服务的空间结构分为供给区、受益区、连接区。生态系统服务供给、需求、消费空间的不一致以及服务流动过程中的距离衰减等造成了生态服务供给和需求空间关联特征。一些生态系统服务供给和需求空间重合,如降低噪音和废物分解等;一些生态系统服务需求发生在供给区周围一定地域内,如上游森林为下游居民提供水质净化和洪水调节服务;还有一些生态系统服务可以在全球范围内被需求和消费,如气候调节和空气净化服务。

本文提出的生态系统服务需求与供给研究框架如图 1 所示。社会经济系统作为生态服务的需求方,自然生态系统作为生态服务的供给方,两者之间存在复杂的非线性关系。社会经济系统一方面通过对生态系统服务的消费来满足人类需求和提高自身福祉,另一方面对生态系统产生直接或间接的影响,进而改变生态系统的结构和功能从而影响服务的供给。当生态系统服务有效供给不足,或生态系统服务供给和需求的空间分异过大,或生态系统服务被过度消费导致其可持续供给能力下降时,需要进行有效的生态系统管理,通过增强服务供给和可达性,提升供需的空间匹配度,减轻生态压力,或者通过生态补偿等机制调控生态系统服务供给与消费,进而调控和平衡生态系统服务的供给和需求。

大多生态系统服务不能像普通商品那样通过自由市场调节供需均衡。因此需要通过生态系统服务供给和需求的关联分析,研究生态系统服务需求弹性差异,结合区域社会特征、经济发展特征、人口结构、受教育程度等特征,因地制宜地调控生态系统服务供给和资源配置,满足人们对生态系统服务的需求,使生态系统服务

效用最大化,并实现生态系统服务的可持续供给。

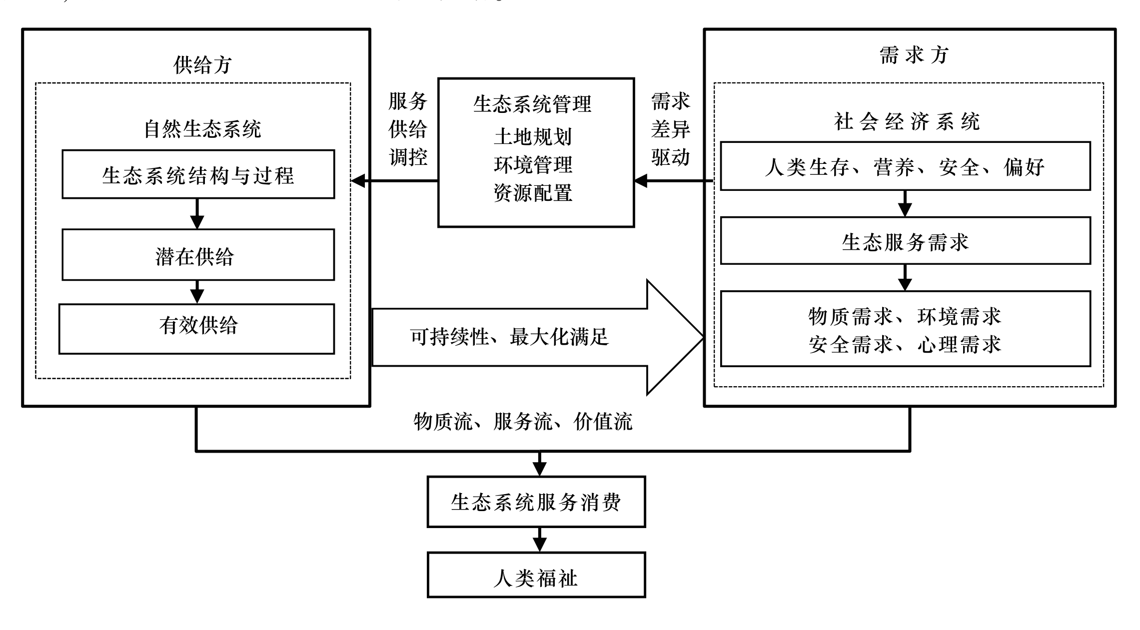


图 1 生态系统服务供给和需求关系研究框架

Fig.1 The research framework of ecosystem services demand and supply

3 生态系统服务供给与需求研究进展

3.1 国内外研究进展

近几年,国外关于生态系统服务供需研究的文献开始出现并逐渐增多,研究涉及多种服务类型,研究角度和方法也比较多样。供给服务的供需研究主要集中在食物、能源和水资源等方面,调节服务研究主要是洪水调节服务、授粉、侵蚀控制和固碳服务等,文化服务主要集中在休闲和生态旅游方面。在 GIS 和 RS 的技术支持下,生态系统服务供给与需求的空间分布格局研究和供需量的关系研究逐渐增多。

国内的相关研究多是从需求者生态系统服务消费的角度研究,服务类型主要集中在食物、薪柴、水资源等直接消费的产品服务方面,研究方法主要是问卷调查或者通过统计数据评估生态系统服务消费。谢高地等[16]根据计量经济学理论,构建了生态系统服务生产-消费-价值化的理论分析框架,提出生态系统服务生产和生态系统服务消费的主要理论方法;甄霖等[14]制定了生态系统服务消费的概念框架,列出了生态系统服务-消费-管理之间的相互关系;还有学者从流域和区域尺度进行了生态系统服务供给-消费研究。总的来说,主要集中于对自然资源的消耗方面,偏向供给和消费的负荷关系定量化研究,对生态系统服务供给和消费的空间关联研究还较少。

3.2 研究方法比较

评估生态系统服务供给与需求的关键步骤是选择合适的指标和量化方法,使服务供给和需求的研究具有统一可比的度量基础。

3.2.1 不同生态服务类型的量化指标辨析

千年生态系统评估(MA)[11]将生态系统服务分为供给、调节、文化和支持服务 4 大类,已有研究中,对供给服务的量化一般用生产力水平作为供给能力量化指标,如区域的农作物产量、薪柴面积等[24];将人均消耗量或者通过调查和统计的消费数据[25]作为服务需求指标,如 Morri 等[26]通过不同用地类型对水资源的消耗量来量化水资源需求。调节服务涉及到复杂的生物物理化学过程,量化过程需要对生态过程的充分理解[27-28],一般是基于过程模型来评估调节服务供给能力,涉及地形、植被、土壤、降水、温度、蒸散发量等多重数据。调节服务的需求可以用脆弱性[29]程度分级量化,如 Nedkov[30]以及 Stürck[31]用假设洪水调节服务失衡

下社会遭受洪水灾害的脆弱性和经济损失程度作为洪水调节服务的需求大小;Baró 等[32]将为达到环境质量标准所需要的调节能力作为空气净化服务的需求;Schulp 等[33]将依赖生物授粉达到最优生长的农作物产量作为授粉服务需求。文化服务的量化和空间制图是不确定性和主观性最大的,受个体或群体的环境背景、信仰、认知体系等多种条件影响,文化服务需求多利用公众参与的方式获得消费者的偏好和意愿作为需求,例如将想去公园的人口数量[8]、公众偏好的目的地作为休闲服务需求[34-35]。而休闲服务供给可以利用 GIS 工具通过可达性分析等对自然景观提供的有效供给进行空间制图。生态系统服务供给和需求量化指标的具有多样性、多维性。Oudenhoven[36]指出评价生态系统服务供给和需求关系的指标必须是可量化的、对土地利用变化反应灵敏的、在空间和时间尺度上可扩展的。目前供给和需求定量化研究正在向这个方向努力。

3.2.2　生态系统服务供给和需求研究方法的比较

不同角度的定义、不同的生态系统服务类别决定了不同的生态系统服务供给和需求量化指标和计算方法。目前的研究方法有基于土地利用/土地覆被变化(LUCC)的生态系统服务供需关系矩阵法、生态足迹法、问卷调查法和公众参与法、模型计算法、市场价值法等。

(1)基于 LUCC 的生态系统服务供需关系矩阵法

LUCC 被认为是生态系统服务的重要影响因素之一。基于 LUCC 的生态系统服务供需平衡关系矩阵是一个专家知识来表征各类土地利用类型上的生态服务供需相关关系的成果,由 Burkhard 等[7]提出。44 个土地利用/土地覆被为矩阵的横列,29 个服务类型为纵列,不同土地利用\土地覆被类型的服务能力和服务需求不一样,用-5 到 5 的等级来表示供需能力匹配相关程度,5 表示高供给低需求,0 表示供需基本相当,-5 表示高需求低供给。Burkhard[7]和 Kroll[37]基于此方法研究了德国中部城市 Leipzig 和 Halle 1990 年和 2007 年的能源、食物、水资源的供给和需求关系并进行供给和需求匹配结果的空间制图,结果表明生态系统服务供给和需求变化很大。基于 LUCC 的生态系统服务供需关系矩阵法可以快速获取从局部到区域尺度土地覆被类型对应的生态系统服务供需关系,可用于具有高度复杂性和不确定性的生态系统服务评价中,应用过程中可以根据区域生态系统功能丰富和调整已有的生态系统服务列表[21]。

(2)模型计算法

模型计算法是通过对生态过程和机理的充分理解建立模型,输入所需的生物物理数据和其他数据计算生态系统服务的供给和需求。Nedkov[30]用 GIS 和 KINEROS 水文模型,结合土地利用、土壤、人口、地形、经济数据等研究了 Etropole 市的洪水调节服务的供给和需求关系,结果表明人口密集区、人工建设用地的洪水调节需求最大。Baró[32]运用 i-Tree Eco 干沉积模型,计算了欧洲 5 个城市的绿色基础设施对空气净化、气候调节、温度调节服务的贡献,结果表明绿色植被的调节服务能力十分有限,难以将现有空气质量调节到满足人类需求的环境质量。此方法的优点在于可移植性,不受空间尺度和时间限制,可以根据不同年份的动态数据进行不同场景下的供需关系分析,但是计算过程需要全面的数据支持和对模型的运用限制因素的充分了解。

(3)生态足迹法

生态足迹法是将区域内总人口对自然资源的消费量和吸纳社会经济代谢排放的废弃物转化为所需要的生物生产性面积作为生态系统服务需求,将区域内生态系统每年所提供的生物生产性面积之和作为服务供给,乘以均衡系数和当地生产力系数转换为标准单位,再与总人口所需的生态足迹进行负荷比较反映当地生态系统服务的供需平衡关系[38]。Palacios 等[39]运用生态足迹和碳足迹计算方法,对 Biscay 地区 2000 至 2010 年间的原材料、食物、能源等服务的供需关系进行了研究。谢高地等[4]采用生态足迹法自下而上的加权计算了中国 1980—2005 年间生态系统服务的消耗,进而度量所形成的生态债务,结果表明 85%以上的省份长期处于生态负债状态,生态系统服务需求超过了生态承载力,人均生态债务持续扩大。生态足迹方法排除了价格等外在因素,并采用了面积这个统一度量单位,可以直观度量区域生态系统服务的供给与消费关系,但生态足迹法不能分开计算特定类型的生态系统服务的供需关系。

(4)公众参与法和问卷调查法

公众参与法和问卷调查法是基于利益相关者的认知、支付意愿和偏好来研究生态服务需求和供给。García-Nieto 等[34]结合配图和面对面的解说,让不同利益相关者从图片上识别西班牙东南部 Granada 和 Almería 市的森林生态系统服务类型(如薪柴供给、侵蚀控制、生态旅游等),并且让受访者判断其重要性作为社会对森林生态系统服务的需求偏好。Peña 等[35]在网上对巴克斯地区对 629 位受访者进行图片-问卷调查,根据视觉上直观的审美偏好级别量化休闲服务的需求和供给,结果 23%的可视域显示出较高的休闲服务需求和较差的服务供给。此种方法较真实地反映了不同利益相关者的需求,但也存在一些缺陷,调查者会因为自己的理解出现对服务类型的描述性偏差,同时,欠缺环境意识的受访者对提供生态安全的调节服务类型的需求识别的不充分,会导致服务需求的过低估计。

此外,市场价值法也为生态系统服务供给和需求匹配研究提供了一种便捷的方法,将供给方的成本和受益方消耗的自然资产统一货币化,便于供需预算比较。但该方法存在一些争议,因为很多生态系统服务的效用并没有被消费者感知到,价值评估结果很难真实反映消费者剩余,只有基于支付意愿的生态系统服务价值评估才能被管理者和公众所接受从而在实际决策中起到作用。

4 问题与展望

目前对生态系统服务供给与需求关系的研究还处于起步阶段,研究大多集中在供给源和消费区静态的服务量计算和比较中,缺少生态系统服务供给和需求的经济学规律探析以及服务空间流动的时空动态模拟,也没有全面地测度生态系统服务供给和需求变化对人类福祉的影响。

当前,研究区域生态系统服务供给、需求和消费需要重点研究和明确的几个主要科学问题是:(1)生态系统服务供给和需求的内涵。生态系统服务需求具有区域差异性和个体差异性,生态系统服务供给受制于自然资源容量同时也受制于生态系统服务需求弹性差异,从而产生不同的消费格局和效用价值;(2)如何量化一定时间和空间范围内的生态系统服务供给和需求? 即寻找统一的生态系统服务需求、供给评价指标和计算方法使得供需结果具有数量单位上可比性;(3)如何调控一定区域内的生态系统服务需求和供给的均衡配置? 包括生态系统服务数量、质量上的均衡关系以及供给、需求和消费的空间关联。生态系统服务缺乏市场性,难以直接通过市场调节达到供需均衡的资源配置,很大程度上只能通过主动干预,结合区域特征和需求弹性差异选择不同的生态系统服务供给模式和资源配置管理方式,在保证生态系统服务可持续供给的基础上最大化地满足人们生态系统服务需求。

针对以上关键科学问题和应用需求,展望今后生态系统服务需求、供给和消费的相关研究,主要有以下几个方向:

(1)生态系统服务需求和消费差异特征和评估方法研究。生态系统服务需求是由个人和群体的社会经济活动决定的,具有区域差异性和个体效用差异性,不同的区域呈现出不同的需求目标和福祉测度,同时生态系统服务需求和消费行为涉及到地理学、水文学、社会学、行为学等跨学科研究。深入分析不同区域自然、社会经济和文化因素对生态系统服务需求的影响,揭示不同区域的生态系统服务需求目标和不同层次消费者对生态系统服务的认知和偏好差异,建立跨学科、多源数据结合、可移植的生态系统服务需求定量评估方法。

(2)生态系统服务供给和需求关系的多尺度研究。生态系统服务供给和需求关系在不同的空间和时间尺度以及不同的利益相关者之间有不同的匹配模式。不同的空间尺度下生态系统服务的供需双方存在不同的空间关联特征和均衡关系,在生态系统调控时应综合权衡不同尺度的生态系统服务供给与需求关系;时间尺度上,生态系统服务供给不仅要满足当前的生态系统服务需求,也要在长远上满足子孙后代的生态系统服务需求,此外,不同利益相关者对于生态系统服务需求也存在短期和长远利益差异。因此,从时空变化和多重利益相关者角度研究生态系统服务供给与需求的变化,制定满足生态系统服务的可持续供给模式,是实现社会和自然的可持续发展的关键。

(3)生态系统服务服务需求与人类福祉的耦合机制。在保证人类社会和自然和谐发展的基础上,提高人

类福祉和生活质量是可持续发展追求的最终目标[40]。进一步研究生态系统服务需求的实现水平和被满足的程度,定量评价生态系统服务和人类日常生活相关的生计、健康、安全福祉的变化,建立相应的分析方法,揭示生态系统服务供给、需求、消费与人类福祉之间的关系和机制,为面向人类福祉的生态系统服务调控提供科学依据和分析工具。

(4)基于供需均衡的生态系统服务调控与管理方法。人类的生态系统服务需求和消费是受自然生态系统和社会经济系统中的多重非线性因素影响的,生态系统服务缺乏市场性,难以直接通过市场调节达到社会福利最大化的的供需配置方式。研究生态系统服务供给和需求的相互作用机制,分析生态系统服务供需关系在自然、社会、经济影响下的变化过程,探索生态系统服务供需研究结果从理论到实际管理的应用模式,建立考虑多尺度、多重利益相关者需求的生态系统决策机制和调控方法,为实现区域的可持续发展提供技术支撑。

参考文献(References):

[1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C: Island Press, 1997.

[2] 欧阳志云, 王如松. 生态系统服务功能与可持续发展, 社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.

[3] Kumar P. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. London and Washington D C: Earthscan, 2010.

[4] 谢高地, 曹淑艳, 鲁春霞, 肖玉, 章予舒. 中国的生态服务消费与生态债务研究. 自然资源学报, 2010, 25(1): 43-51.

[5] Raymond C M, Bryan B A, MacDonald D H, Cast A, Strathearn S, Grandgirard A, Kaliva T. Mapping community values for natural capital and ecosystem services. Ecological Economics, 2009, 68(5): 1301-1315.

[6] Syrbe R U, Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. Ecological Indicators, 2012, 21(3): 80-88.

[7] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. Ecological Indicators, 2012, 21(3): 17-29.

[8] Villamagna A M, Angermeier P L, Bennett E M. Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. Ecological Complexity, 2013, 15(5): 114-121.

[9] Schröter M, Barton D N, Remme R P, Hein L. Accounting for capacity and flow of ecosystem services: A conceptual model and a case study for Telemark, Norway. Ecological Indicators, 2014, 36(1): 539-551.

[10] Geijzendorffer I R, Martín-López B, Roche P K. Improving the identification of mismatches in ecosystem services assessments. Ecological Indicators, 2015, 52: 320-331.

[11] Assessment M E. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group. 2nd ed. Washington D C: Island Press, 2005.

[12] Wackernagel M, Rees W, Testemale P. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.

[13] Schröter M, Remme R P, Hein L. How and where to map supply and demand of ecosystem services for policy-relevant outcomes?. Ecological Indicators, 2012, 23: 220-221.

[14] 甄霖, 刘雪林, 魏云洁. 生态系统服务消费模式、计量及其管理框架构建. 资源科学, 2008, 30(1): 100-106.

[15] 左玉辉. 环境经济学. 北京: 高等教育出版社, 2003: 127-129.

[16] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 曹淑艳, 肖玉. 生态系统服务的供给、消费和价值化. 资源科学, 2008, 30(1): 93-99.

[17] Termansen M, McClean C J, Jensen F S. Modelling and mapping spatial heterogeneity in forest recreation services. Ecological Economics, 2013, 92: 48-57.

[18] Plieninger T, Dijks S, Oteros-Rozas E, Bieling C. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. Land Use Policy, 2013, 33: 118-129.

[19] Casado-Arzuaga I, Madariaga I, Onaindia M. Perception, demand and user contribution to ecosystem services in the Bilbao Metropolitan Greenbelt. Journal of Environmental Management, 2013, 129: 33-43.

[20] Lee K H, Schuett M A. Exploring spatial variations in the relationships between residents' recreation demand and associated factors: A case study in Texas. Applied Geography, 2014, 53: 213-222.

[21] 李双成. 生态系统服务地理学. 北京: 科学出版社, 2014: 84-85.

[22] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological Economics, 2009, 68(3): 643-653.

[23] de Groot R S, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape

planning, management and decision making. Ecological Complexity, 2010, 7(3): 260-272.

[24] 潘理虎, 闫慧敏, 黄河清, 甄霖, 陈立潮. 北方农牧交错带生态系统服务合理消耗多主体模型构建. 资源科学, 2012, 34(6): 1007-1016.

[25] 杨莉, 甄霖, 潘影, 曹晓昌, 龙鑫. 生态系统服务供给-消费研究: 黄河流域案例. 干旱区资源与环境, 2012, 26(3): 131-138.

[26] Morri E, Pruscini F, Scolozzi R, Santolini R. A forest ecosystem services evaluation at the river basin scale: Supply and demand between coastal areas and upstream lands (Italy). Ecological Indicators, 2014, 37(2): 210-219.

[27] Wolff S, Schulp C J E, Verburg P H. Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives. Ecological Indicators, 2015, 55: 159-171.

[28] Cuddington K, Fortin M J, Gerber L R, Hastings A, Liebhold A, O'Connor M, Ray C. Process-based models are required to manage ecological systems in a changing world. Ecosphere, 2013, 4(2): 1-12.

[29] ISDR. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Geneva: ISDR, 2009.

[30] Nedkov S, Burkhard B. Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. Ecological Indicators, 2012, 21(5): 67-79.

[31] Stürck J, Poortinga A, Verburg P H. Mapping ecosystem services: The supply and demand of flood regulation services in Europe. Ecological Indicators, 2014, 38(3): 198-211.

[32] Baró F, Haase D, Gómez-Baggethun E, Frantzeskaki N. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. Ecological Indicators, 2015, 55: 146-158.

[33] Schulp C J E, Lautenbach S, Verburg P H. Quantifying and mapping ecosystem services: Demand and supply of pollination in the European Union. Ecological Indicators, 2014, 36(1): 131-141.

[34] García-Nieto A P, García-Llorente M, Iniesta-Arandia I, Martín-López B. Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries. Ecosystem Services, 2013, 4: 126-138.

[35] Peña L, Casado-Arzuaga I, Onaindia M. Mapping recreation supply and demand using an ecological and a social evaluation approach. Ecosystem Services, 2015, 13: 108-118.

[36] van Oudenhoven A P E, Petz K, Alkemade R, Hein L, de Groot R S. Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services. Ecological Indicators, 2012, 21: 110-122.

[37] Kroll F, Müller F, Haase D, Fohrer N. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. Land Use Policy, 2012, 29(3): 521-535.

[38] Jenerette G D, Marussich W A, Newell J P. Linking ecological footprints with ecosystem valuation in the provisioning of urban freshwater. Ecological Economics, 2006, 59(1): 38-47.

[39] Palacios-Agundez I, Onaindia M, Barraqueta P, Madariaga I. Provisioning ecosystem services supply and demand: The role of landscape management to reinforce supply and promote synergies with other ecosystem services. Land Use Policy, 2015, 47: 145-155.

[40] Costanza R, Fisher B, Ali S, Beer C, Bond L., Boumans R, Danigelis N L, Dickinson J, Elliott C, Farley J, Gayer D E, Glenn L M, Hudspeth T, Mahoney D, McCahill L, McIntosh B, Reed B, Rizvi S A T, Rizzo D M, Simpatico T, Snapp R. Quality of life: An approach integrating opportunities, human needs, and subjective well-being. Ecological Economics, 2007, 61(2/3): 267-276.